

۱۶۰ ۹۵۱۲

عملیات واحد در مهندسی صنایع غذایی

دکتر حمید توکلی

دکتر محسن مختاریان



آییز

این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر، نشر یا پخش کند، مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت

سرشناسه	نوکی پور، حمید، ۱۳۴۵ -
عنوان و نام پدیدآور	عملیات واحد در مهندسی صنایع غذایی/مولفان حمید توکلی پور، محسن مختاریان.
مشخصات نشر	تهران: آبیژ، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۴۶۴ص.؛ مصور، جدول، نمودار.
شابک	978-964-970-636-8.
وضعیت فهرست نویسی	فیبیا
یادداشت	نمایه.
یادداشت	کتابنامه: ص. ۴۳۹-۴۴۲.
موضوع	مواد غذایی -- صنعت و تجارت -- الگوهای ریاضی
موضوع	Food industry and trade -- Mathematical models
موضوع	مواد غذایی -- صنعت و تجارت -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	Food industry and trade -- Study and teaching (Higher)
موضوع	مواد غذایی -- صنعت و تجارت -- مسائل، تمرین ها و غیره (عالی)
موضوع	Food industry and trade -- Problems, exercises, etc (Higher)
شناسه افزوده	مختاریان، محسن، ۱۳۴۶ -
رده بندی کنگره	۷: ۳۷۰ / ۹ع ۸ TP
رده بندی دیویی	۶۶۴ / ۰۰۱۵۱۱
شماره کتاب شناسی ملی	۲۴۲۰۹۰۹



عملیات واحد در مهندسی صنایع غذایی

تألیف	دکتر حمید توکلی پور، محسن مختاریان
ناشر	آبیژ
قطع	وزیری
نوبت چاپ	اول
تاریخ چاپ	۱۳۹۸
تیراژ	۲۰۰
صفحات	۴۶۴
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۹۷۰-۶۳۶-۸
دفتر انتشارات	تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد غربی، پلاک ۲۱۵
تلفن	۶۶۵۶۸۰۹۶-۸

وب سایت WWW.Nakketab.com ناک کتاب سایت رسمی فروش کتاب آبیژ، نوپردازان و گهواره کتابیران

مرکز پخش کتابیران: تهران، خیابان لبافی نژاد، بین اردبیهشت و فروردین، پلاک ۲۳۸

تلفن: ۶۶۴۱۴۴۷۴ - ۶۶۴۱۳۵۱۵ - ۶۶۴۱۱۱۷۳ - ۶۶۴۹۴۴۰۹

WWW.Ketabiran.ir

فروش اینترنتی

پیشگفتار

عملیات واحد، ترکیب شکل های مختلف فرایندهای فیزیکی در تعداد کمی از عملیات بنیادی است به طوری که این عملیات در واحدهای مختلف صنایع غذایی مشترک است. صنایع غذایی ممکن است در ابتدا خیلی متنوع به نظر برسد ولی مطالعه دقیق نشان می دهد که این فرایندهای پیچیده و متفاوت می تواند توسط عملیات واحد محدودی بیان شود. امروزه با توسعه جهانی شدن و الزامات منطقه ای و کشوری، صنعت غذا باید در جهت دستیابی به فرایندهای غذایی ایمن، کارا و قابل اطمینان با صرف یک هزینه منطقی حرکت نماید، چون بازارها دیگر مختص یک مکان خاص نیستند و کشورهای مختلف بر سر تصاحب بازارهای یکدیگر با هم رقابت می کنند.

در حال حاضر، نیازهای صنایع غذایی مانند محیط زیست پایدار، کمینه سازی نشر کربن و استفاده از فناوری های نوین، بر سر تولید مواد خوراکی شکل گرفته است. بنابراین عملیات واحد و خطوط فرایندهای غذایی که با آنها تبط است باید خیلی قابل انعطاف تر از گذشته طراحی شود. از هنگام چاپ نخست کتاب اصول مهندسی صنایع غذایی در دو دهه پیش، نگارش کتابی که در برگزیده کاربردهای اصول ذکر شده در آن، کتاب برای معرفی و طراحی فرایندهای بنیادی صنایع غذایی باشد، همواره ذهن مؤلفین را به خود مشغول داشته بود ولی مشغله های مختلف مانع از پرداختن به این امر مهم می گردید. در حقیقت کتاب حاضر می تواند به مثابه یک منبع تکمیلی برای کتاب مذکور در نظر گرفته شود.

کتاب حاضر شامل هفت فصل است که در فصل اول به معرفی عملیات واحد و اهمیت آن در صنایع غذایی پرداخته شده است، فصل دوم به همزدن و اختلاط در سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی و طراحی دستگاه های مربوط به آن اختصاص دارد، فصل سوم جداسازی مکانیکی شامل سانتریفوژ و فیلتراسیون که از مراحل ضروری در هر واحد صنایع غذایی هستند را پوشش می دهد، فصل های چهارم و پنجم، عملیات تبخیر و خشک کردن را به تفصیل بیان می کند که طراحی عملی این سیستم ها می تواند به دلیل وجود فرآورده های کشاورزی متنوع و مرغوب از نقاط قوت کشور برای تولید انواع فرآورده های کنسراتره و خشکبار جهت نیل به صادرات غیرنفتی باشد، فصل ششم به عملیات کاهش اندازه که پیش نیاز اغلب فرایندهای غذایی برای آماده سازی مواد غذایی جامد و مایع است، می پردازد و فصل هفتم فناوری های نوین در صنایع غذایی مانند رادیو فرکانسی، گرمایش مقاومتی، میدان های الکتریکی ضربانی، پرتودهی و استخراج توسط سیال فوق بحرانی را دربرمی گیرد. با توجه به نکات یاد شده در بالا، تأخیر در تحقیق و توسعه این فناوری های سبز و دوستار محیط زیست

موجب شکاف روز افزون با فرآورده‌های غذایی تولید شده در کشورهای توسعه‌یافته و برخی کشورهای در حال توسعه خواهد شد که این خود منجر به واردات بی‌رویه و کاهش ظرفیت یا حذف کارخانه‌های صنایع غذایی مبتنی بر فناوری‌های قدیمی موجود می‌گردد.

گروه‌های هدف استفاده‌کننده از این کتاب در وهله نخست متخصصین علوم و صنایع غذایی، مهندسین صنایع غذایی و دانشجویان گرایش‌های مختلف رشته صنایع غذایی هستند. ولی برای دانشجویان و متخصصین سایر رشته‌ها از جمله مهندسی شیمی، بیوتکنولوژی (زیست‌فناوری)، مهندسی مکانیک و مکانیک ماشین‌های کشاورزی نیز کاملاً قابل استفاده خواهد بود.

همین‌جا از دانشجویان و صاحب‌نظران درخواست می‌شود نظرات ارزشمند خود را درباره این کتاب به نویسندگان یا ناشر انتقال دهند تا در چاپ‌های بعدی کتاب به‌کار بسته شود.

سپاس خزاریم از بزدان پاک که به ما توانایی اندیشیدن و نوشتن اعطا فرمود و از خانواده‌هایمان به خاطر جد و بردباری‌شان در طول نوشتن این کتاب و نیز درود می‌فرستیم به روان پاک دکتر شاپور گهواره که در طول حیات پرکار خود با چاپ کتاب‌های ارزشمند و ماندگار خدمات شایانی به فرهنگ این مرز و بوم ارایه نمود.

www.ketaboo.ir

فهرست مطالب

فصل ۱	درآمدی بر عملیات واحد صنایع غذایی
۱	پیشگفتار.....
۱-۱	فرایند.....
۲-۱	مهندسی فرایندهای غذایی.....
۳-۱	تبدیل و تجاری سازی فرآورده های کشاورزی.....
۴-۱	نمودار جریان و توصیف برخی فرایندهای غذایی.....
۵-۱	حالت های پایا و ناپایا.....
۶-۱	عملیات ناپیوسته، پیوسته و نیمه پیوسته.....
۷-۱	دسته بندی عملیات واحد.....
۱-۷-۱	عملیات واحد انتقال مومستوم.....
۲-۷-۱	عملیات واحد انتقال جرم.....
۳-۷-۱	عملیات واحد انتقال حرارت.....
۴-۷-۱	عملیات واحد همزمان انتقال حرارت و جرم.....
۵-۷-۱	عملیات واحد تکمیلی.....
۱۰	کوتاه نوشت ها.....

فصل ۲	همزدن و اختلاط
۱۱	پیشگفتار.....
۱-۲	تعریف اختلاط و اهداف.....
۲-۲	نمایه اختلاط و زمان مخلوط کردن.....
۳-۲	تعیین نقطه پایان اختلاط.....
۴-۲	اختلاط مایعات.....
۱-۴-۲	توان مصرفی در اختلاط مایعات.....

۳۹	۲-۴-۲ الگوهای جریان در اختلاط مایعات
۴۰	۳-۴-۲ روابط چگالی و گرانیوی مخلوط
۴۴	۴-۴-۲ تغییر ابعاد مخازن همزن دار
۴۷	۵-۴-۲ زمان مخلوط شدن دو مایع در بهمن
۴۸	۵-۲ اختلاط مواد جامد
۴۹	۱-۵-۲ تجهیزات مورد نیاز برای اختلاط مواد جامد
۵۳	۲-۵-۲ ورز دادن خمیر
۵۷	۶-۲ تئوری اختلاط سیستم های چندفازی
۵۷	۱-۶-۲ تعلیق ضمن گازدهی
۶۱	۱-۶-۱ توان مورد نیاز همزدن
۶۲	۳-۶-۲ تانک های مواد جامد
۶۳	۴-۶-۲ توان مورد نیاز طی گازدهی
۶۳	۵-۶-۲ ظرفیت نیاز روانه
۶۵	۶-۶-۲ تعلیق مواد نسبی
۶۵	۱-۶-۶-۲ تعلیق سوسپانسیون بدون گازدهی
۶۸	۲-۶-۶-۲ ته شین شدن ذرات و دراگ
۷۵	۳-۶-۶-۲ تعلیق سوسپانسیون ضمن گازدهی
۷۶	۷-۲ ارزیابی اثربخشی اختلاط
۸۱	مسائل
۸۴	فهرست نمادها
۸۵	زیرنویس ها
۸۵	حروف یونانی
۸۶	زاویه ها
۸۶	کوتاه نوشت ها

۸۷	پیشگفتار
۸۷	۱-۳ جداسازی سانتریفوژی
۸۸	۱-۱-۳ اصول بنیادی
۸۹	۱-۱-۱-۳ تانک بهمن مداوم
۹۱	۲-۱-۱-۳ از تانک بهمن تا سانتریفوژهای لوله ای

۹۵	تانک ته‌نشین‌کننده بافل‌دار و سانتریفوژ دیسکی-کاسه‌ای	۳-۱-۱-۳
۹۷	جداسازی مایع-مایع	۴-۱-۱-۳
۹۹	سانتریفوژها	۲-۱-۳
۱۰۰	سانتریفوژهای لوله‌ای	۱-۲-۱-۳
۱۰۱	سانتریفوژهای کاسه‌ای-دیسکی	۲-۲-۱-۳
۱۰۳	سانتریفوژهای ته‌نشین‌کننده (دکانتور)	۳-۲-۱-۳
۱۰۴	سانتریفوژهای سبکی	۴-۲-۱-۳
۱۰۴	سیکلون‌ها	۳-۱-۳
۱۰۸	فیلتراسیون	۲-۳
۱۱۰	فیلتراسیون عمیق	۱-۱-۳
۱۱۲	فیلتراسیون سطحی	۲-۲-۳
۱۱۲	مکانیزم	۱-۲-۳
۱۱۳	فرآیند فیلتراسیون	۱-۱-۳
۱۱۹	پیش‌سازی چرخه فیلتراسیون	۱-۲-۲-۳
۱۱۹	ویژگی‌های لیک‌های فیلتراسیون	۴-۲-۲-۳
۱۲۱	نقش لیک‌ها در فیلتراسیون	۵-۲-۲-۳
۱۲۲	تجهیزات فیلتراسیون	۳-۲-۳
۱۲۲	فیلترهای عمیق	۱-۳-۲-۳
۱۲۳	صافی‌های مانع مانند (سطحی)	۲-۳-۲-۳
۱۲۷	فشردن	۴-۲-۳
۱۲۹	مکانیزم فشردن	۱-۴-۲-۳
۱۳۱	کاربردها و تجهیزات	۲-۴-۲-۳
۱۳۴	مسائل	
۱۳۷	فهرست نمادها	
۱۳۸	زیرنویس‌ها	
۱۳۸	حروف یونانی	
۱۳۸	کوته‌نوشت‌ها	

۱۳۹	پیشگفتار	
۱۴۰	تجهیزات تبخیر	۱-۴
۱۴۱	تبخیرکننده غیرمداوم تابه‌ای باز	۱-۱-۴

۱۴۱	تبخیرکننده تابه‌ای تحت خلاء	۲-۱-۴
۱۴۱	تبخیرکننده دارای مبدل حرارتی لوله‌ای	۳-۱-۴
۱۴۲	تبخیرکننده دارای مبدل حرارتی لوله‌ای خارجی	۴-۱-۴
۱۴۴	تبخیرکننده چرخش طبیعی	۵-۱-۴
۱۴۵	تبخیرکننده چرخش اجباری	۶-۱-۴
۱۴۶	تبخیرکننده لایه‌ای نازک	۷-۱-۴
۱۴۷	تبخیرکننده صفحه‌ای	۸-۱-۴
۱۴۸	انتقال حرارت	۲-۴
۱۴۹	ضرب کلی انتقال حرارت (U)	۱-۱-۴
۱۵۰	تعیین بعداد یک تبخیرکننده تک‌بدنه‌ای	۳-۴
۱۵۰	موانع جرم و انرژی	۱-۳-۴
۱۵۶	راندمان تبخیرکننده	۲-۳-۴
۱۵۸	روش نقطه بهش	۳-۳-۴
۱۶۸	روش‌های بهبود راندمان تبخیرکننده	۴-۴
۱۶۸	بازتراکم بخار	۱-۴-۴
۱۶۸	جث فوران بخار (ازگنج خار)	۲-۳-۴
۱۶۹	تبخیرکننده‌های چندمرحله‌ای	۳-۳-۴
۱۷۱	خوراک پیش‌گرم شده	۱-۳-۳-۴
۱۷۲	خوراک پس‌رونده	۲-۳-۳-۴
۱۷۳	خوراک مختلط	۳-۳-۳-۴
۱۷۴	خوراک موازی	۳-۳-۳-۴
۱۷۴	نمونه‌هایی از تبخیرکننده‌های چندمرحله‌ای	۳-۳-۴
۱۷۶	تعیین ابعاد تبخیرکننده‌های چندبدنه‌ای	۴-۴
۱۷۶	روش اول (روش رایج در اکثر منابع مهندسی)	۱-۴-۴
۱۸۲	روش دوم (روش صنعتی)	۲-۴-۴
۱۸۸	تأثیر تبخیر روی کیفیت مواد غذایی	۵-۴
۱۸۸	اثرات حرارتی	۱-۵-۴
۱۸۸	أفت ترکیبات طعم‌دار فرار	۲-۵-۴
۱۹۰	مسائل	
۱۹۶	فهرست نمادها	
۱۹۷	زیرنویس‌ها	

۱۹۷	حروف یونانی
۱۹۷	کوته نوشت ها

فصل ۵ خشک کردن

۱۹۹

۱۹۹	پیشگفتار
۲۰۱	۱-۵ روش های مختلف خشک کردن
۲۰۲	۲-۵ اصول خشک کردن
۲۰۶	۱-۲-۵ داده های EMC-RH
۲۱۲	۲-۱-۵ منحنی خشک کردن
۲۱۶	۳-۵ خشک کردن تحت شرایط آهنگ خشک کردن ثابت
۲۲۲	۴-۲-۵ اعمال جارت در خشک کردن
۲۲۸	۵-۲-۵ ضرب با انتشار در خشک کردن مواد غذایی جامد
۲۳۲	۳-۵ مدل سازی یک سر خشک کردن
۲۳۶	۴-۵ موازنه جرم و انرژی در خشک کردن ها
۲۳۷	۱-۴-۵ کاربرد جریان برگشتی در شک کن ها
۲۳۸	۵-۵ تجهیزات خشک کردن
۲۵۵	۱-۵-۵ معیارهایی جهت گزینش خشک کن
۲۵۶	۶-۵ کاربردهای آبیگری در فرآوری مواد غذایی
۲۶۱	۷-۵ انواع مختلف فناوری های پیشرفته خشک کردن
۲۶۲	مسائل
۲۷۰	فهرست نمادها
۲۷۱	زیر نویس ها
۲۷۱	بالا نویس
۲۷۱	حروف یونانی
۲۷۲	کوته نوشت ها

فصل ۶ کاهش اندازه

۲۷۳

۲۷۳	پیشگفتار
۲۷۴	۱-۶ کاهش اندازه مواد غذایی جامد
۲۷۴	۱-۱-۶ اندازه ذرات و توزیع اندازه ذرات
۲۷۴	۱-۱-۱-۶ تعریف اندازه یک ذره
۲۷۶	۲-۱-۱-۶ توزیع اندازه ذرات در یک مجموعه ذرات؛ تعریف اندازه متوسط ذرات

۲۷۹	۳-۱-۱-۶	مدل ریاضی PSD
۲۸۲	۴-۱-۱-۶	شکل ذرات
۲۸۴	۲-۱-۶	تئوری کاهش اندازه مواد جامد
۲۸۴	۱-۲-۱-۶	مکانیسم کاهش اندازه در جامدات
۲۸۴	۲-۲-۱-۶	توزیع اندازه ذرات پس از کاهش اندازه
۲۸۵	۳-۲-۱-۶	مصرف انرژی
۲۸۹	۳-۱-۶	سطح جدید تشکیل شده ضمن کاهش اندازه
۲۹۱	۴-۱-۶	کاهش حجم مواد جامد، تجهیزات و روش ها
۲۹۱	۱-۴-۱-۶	آسیاب ضربه ای
۲۹۲	۲-۴-۱-۶	آسیاب های فشاری
۲۹۳	۳-۴-۱-۶	آسیاب سایشی
۲۹۶	۱-۱-۱-۶	بُرنده ها و خردکننده ها
۳۰۰	۲-۶	کاهش اندازه راد غایی مایع (امولسیون سازی و همگن سازی)
۳۰۱	۱-۲-۶	اصول نیادی
۳۰۳	۲-۲-۶	هموژنایزرها (ه.خ.ا.ها)
۳۰۵	۱-۲-۲-۶	ه.ز.تایز و اصوت
۳۰۶	۲-۲-۲-۶	کف رایی
۳۰۶	۳-۶	کاربردهای کاهش اندازه در صنایع غذایی
۳۰۶		مسائل
۳۱۱		فهرست نمادها
۳۱۲		زیرنویس ها
۳۱۲		حروف یونانی
۳۱۲		کوته نوشت ها

۳۱۳

فصل ۷ فناوری های نوظهور در صنایع غذایی

۳۱۳		پیشگفتار
۳۱۴	۱-۷	پرتوهای یون ساز
۳۱۴	۱-۱-۷	اصول پرتوهای یون ساز
۳۱۶	۱-۱-۱-۷	برهمکنش تابش با ماده
۳۱۶	۲-۱-۱-۷	دُز پرتو جذب شده
۳۱۷	۲-۱-۷	اثرات بیولوژیکی پرتوهای یون ساز

۳۱۸	پرتوهای یون‌ساز در صنایع غذایی	۳-۱-۷
۳۲۰	غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها توسط پرتودهی	۴-۱-۷
۳۲۳	تأثیر پرتودهی روی مواد غذایی	۵-۱-۷
۳۲۴	کارخانه‌های پرتودهی مواد غذایی	۶-۱-۷
۳۳۱	مایکروویو و گرمایش رادیویی فرکانسی (RF)	۲-۷
۳۳۱	اصول و مکانیسم‌های گرمایش دی‌الکتریک	۱-۲-۷
۳۳۳	خواص دی‌الکتریک	۲-۲-۷
۳۳۳	تبدیل انرژی مایکروویو به گرما	۳-۲-۷
۳۳۴	عمق نفوذ امواج مایکروویو	۴-۲-۷
۳۳۶	تجهیزات مایکروویو	۵-۱-۷
۳۳۷	گرمایش مواد غذایی با مایکروویو	۶-۱-۷
۳۳۹	فراآینس مواد غذایی توسط مایکروویو و RF	۷-۲-۷
۳۴۲	گرمایش مادون قرمز (سرخ)	۳-۷
۳۴۲	اصول گرمایش مادون قرمز	۱-۳-۷
۳۴۴	دستگاه‌های فراوری مادون قرمز	۲-۳-۷
۳۴۵	فراآوری غذا توسط امواج مادون قرمز	۳-۳-۷
۳۴۵	گرمایش اهمیتیک (گرمایش مقاومتی)	۴-۷
۳۴۶	اصول گرمایش اهمیتیک	۱-۴-۷
۳۴۷	وسایل فراآوری اهمیتیک	۲-۴-۷
۳۴۹	فراآوری اهمیتیک مواد غذایی	۳-۴-۷
۳۵۰	فناوری فشار بالا	۵-۷
۳۵۱	اصول فشار هیدرواستاتیک بالا و دستگاه‌های آن	۱-۵-۷
۳۵۳	فراآوری مواد غذایی توسط فشار هیدرواستاتیک بالا	۲-۵-۷
۳۵۴	فناوری میدان الکتریکی ضربانی (پالسی) با شدت بالا	۶-۷
۳۵۵	اصول میدان الکتریکی ضربانی و دستگاه‌های آن	۱-۶-۷
۳۵۶	فراآوری مواد غذایی با میدان الکتریکی ضربانی بالا	۲-۶-۷
۳۵۷	فراصوت	۷-۷
۳۵۷	اصول فراآوری مواد غذایی با تیمار فراصوت	۱-۷-۷
۳۵۹	تعریف امواج فراصوت	۱-۱-۷-۷
۳۵۹	ویژگی‌های امواج صوتی	۲-۱-۷-۷
۳۶۶	حفره‌زایی (کاویتاسیون) و عوامل مؤثر بر آن	۳-۱-۷-۷
۳۶۸	اصطلاحات فراآوری مواد غذایی با فراصوت	۴-۱-۷-۷

۳۶۹	۲-۷-۷	ساختمان ماشین آلات مولد امواج فراصوت
۳۶۹	۱-۲-۷-۷	تجهیزات امواج فراصوت
۳۷۱	۲-۲-۷-۷	انواع راکتورهای تولیدکننده امواج فراصوت
۳۷۴	۳-۷-۷	کاربردهای فراصوت در فرآوری مواد غذایی
۳۷۴	۱-۳-۷-۷	تسریع انتقال جرم طی آبیگری اسمزی
۳۷۷	۴-۷-۷	استقرار سیستم HACCP در عملیات فرآوری مواد غذایی با تیمار فراصوت
۳۸۰	۸-۷	استخراج با سیال فوق بحرانی
۳۸۰	۱-۸-۷	مقدمه
۳۸۱	۲-۸-۷	اصول استخراج فوق بحرانی
۳۸۲	۳-۸-۷	اصول ترمودینامیکی سیال فوق بحرانی
۳۸۵	۴-۸-۷	مراحل فرایند و مشخصات عملیاتی استخراج فوق بحرانی
۳۸۷	۵-۸-۷	کاربردهای استخراج با سیال فوق بحرانی در فرایندهای غذایی
۳۹۱	۶-۸-۷	محدودیت‌ها در استخراج با سیال فوق بحرانی
۳۹۱	۷-۸-۷	نتیجه گیری
۳۹۱		مسائل
۳۹۳		فهرست نمادها
۳۹۳		زیرنویس‌ها
۳۹۳		حروف یونانی
۳۹۴		کوتاه نوشت‌ها
۳۹۵		پیوست‌ها
۴۳۹		منابع پیوست‌ها
۴۴۱		منابع و مآخذ
۴۴۳		نمایه